

**ФОРМИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ СБОРОЧНЫХ  
ЕДИНИЦ, УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
МАШИН И КОМПЛЕКСОВ**

**Хмельницкий С. В.**

**Научный руководитель – к.т.н. Писарев И. С.**

***Сибирский федеральный университет***

Современные условия обострения конкурентной борьбы на рынке транспортных услуг в скором времени заставят предприятия, эксплуатирующие транспортно-технологические машины и комплексы (ТТМК), уделять все большее внимание направлению восстановления и ремонта сборочных единиц основных узлов и агрегатов подвижного состава.

Экономическая эффективность ремонта ТТМК состоит в том, что заготовки, полученные в результате разборки и очистки, значительно дешевле заготовок, выпускаемых машиностроением и получаемых литьем, ковкой или штамповкой. Кроме того, при ремонте деталей, как правило, обрабатывается меньшее число поверхностей, поэтому трудоемкость обработки значительно ниже. Таким образом, использование рациональных технологических процессов ремонта на основе эксплуатировавшихся заготовок обеспечивает экономически эффективное восстановление свойств, близких к свойствам новой детали.

Сложившийся на практике подход к технологии ремонтных работ сводится, как правило, к замене существенно изношенных деталей агрегата, если внешние признаки износа очевидны. Основанием для восстановления или замены деталей служат зачастую опытные наблюдения, инициированные частотой встречающихся отказов детали или группы деталей. Решения о замене или восстановлении деталей принимаются на основе эмпирических правил без учета значений параметров точности замыкающих звеньев, заложенных конструктором при проектировании агрегата. Такой подход к ремонту не учитывает величины износа в текущий момент времени вспомогательных деталей, узлов и их сопряжений. Все вышеперечисленное приводит к снижению точности сборки агрегата в целом и, как следствие, к уменьшению его ресурса и увеличению затрат, связанных с ремонтом.

В современных условиях информатизации технологических процессов одним из перспективных направлений в ремонте ТТМК является использование размерного анализа. Обоснование оптимальных допускаемых износов деталей и соединений при ремонте может быть осуществлено с учетом их влияния на работоспособность других деталей сборочной единицы, лимитирующих ее долговечность. Решение этой задачи возможно только при рассмотрении размерных параметров деталей и соединений как параметров размерных цепей (РЦ), определяющих надежность агрегата или узла.

Однако, перед анализом размерных параметров сопряжений деталей агрегата ТТМК, должен быть выполнен большой объем работ связанный с предварительным формированием размерной модели этого агрегата, так отсутствие данной модели не дает реализовать основные принципы размерного анализа, который представляет собой совокупность расчетно-аналитических процедур, осуществляемых при изготовлении, ремонте и анализе конструкций и технологических процессов.

Основная проблема в синтезе размерной модели заключается в том, что в настоящий момент нет достаточно надежных и работающих алгоритмов и правил по выявлению замыкающих звеньев и схем РЦ.

Отсутствие правил приводит к тому, что неправильно выбранные и не в полном объеме выявленные замыкающие звенья не позволяют получить требуемых результа-

тов по восстановлению конструктивных и размерных характеристик ремонтируемого агрегата.

Для обеспечения качественного проведения размерного анализа были выполнены многочисленные исследования, связанные с параметрами точности деталей и размерным анализом. Очень важной проблемой в комплексе работ размерного анализа является построение графических схем РЦ – этот вид работ по трудоёмкости аналогичен разработке сборочного чертежа изделия. Без сборочного чертежа невозможно спроектировать и изготовить изделие, и аналогично без построения размерных схем невозможно провести размерный анализ.

Поскольку размерный анализ является очень сложным и трудоёмким видом работы – размерный анализ одного технологического процесса может занимать от 20 до 60 часов, то были разработаны методы автоматизации размерного анализа. Основное их достоинство – это уменьшение времени и повышение качества проектирования; основным недостатком является необходимость формирования размерных схем и графов в ручном режиме, что затрудняет внедрение данных методик на производстве. Трудоёмкость осталась, единственное отличие в том, что построение схем выполняется не на листе бумаги, а на экране компьютера.

Как показал анализ состояния вопроса, наиболее перспективным в дальнейшем развитии методом формирования размерной модели агрегата является предложенный способ М. Х. Попова. Автор предлагает способ формирования схем линейных сборочных цепей, который объединяет два этапа — формирование модели структуры размерных связей и формирование схем РЦ. Предложенный способ формирования схем размерных цепей особенно удобен при наличии нескольких монтажных параметров, чьи размерные цепи взаимосвязаны.

Наряду с указанными преимуществами предложенный способ обеспечивает возможность масштабной оценки длины составляющих и замыкающего звеньев, а также определение общих составных звеньев, входящих в систему РЦ.

Однако, как показывает практика, формирования размерной модели агрегата по предложенному способу вызывает некоторые трудности в выявлении РЦ из сети основных путей. Автор рассматривает данную процедуру, основываясь на абстрактных и иных формальных принципах, которые не дают четкой и ясной картины по решению поставленной задачи.

Для синтеза размерной модели агрегата предлагается несколько видоизменить и предпринять попытки автоматизации уже существующего способа М.Х Попова, с целью экономии времени в процессе ремонта агрегата, а также ликвидации формальных предложений и принципов. Формализация способа формирования схем сборочных РЦ является важным средством внедрения размерно-точностного анализа в практику конструирования и ремонта ТТМК. В настоящее время подобная формализация состоит из двух этапов: формирование структуры размерных связей изделия и на его базе — схем РЦ. В свою очередь, модель структуры размерных связей может быть представлена двумя способами: графом и схемой.

Целью предлагаемой методики формирования размерной модели агрегата является объединение указанных выше этапов — формирование модели структуры размерных связей и схем размерных цепей при сохранении наглядности графа и организованности схемы.

Формирование размерной модели по предлагаемому способу можно разбить на три основных шага:

1. Подготовительный;
2. Формирование сети основных путей;
3. Формирование схем сборочных размерных цепей.

Этот способ наглядно представлен на рис. 1.

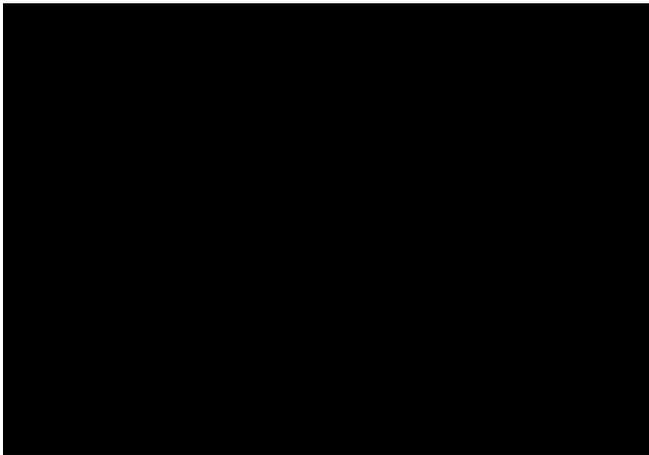


Рис. 1. Последовательность синтеза размерной модели агрегата

На подготовительном шаге обозначают (кодируют) функциональные элементы в рамках всего изделия или агрегата. Кодирование элементов изделия начинается с присвоения всем элементам порядковых номеров  $m$  от 1 до  $n$  в порядке возрастания без учета какой-либо последовательности и вида взаимодействия между элементами.

На следующем этапе от каждой поверхности и сопряжений элементов проводят вспомогательные линии, которые будут являться основным видом связи между всеми

элементами агрегата. Вспомогательные линии также подвергаются нумерованию в виде присвоения порядкового номера  $k$  от 1 до  $m$  в порядке возрастания. Важно отметить, что вспомогательные линии проводятся только в одной из рассматриваемой плоскости.

Далее каждому порядковому номеру  $k$  присваивается один или несколько индексов принадлежности  $i$  в виде кода  $k_i$ . Индекс принадлежности присваивается с учетом сопряжений деталей к друг к другу. В дальнейшем код  $k_i$  будет выступать в качестве вершины графа размерной модели. Данная процедура кодирования элементов наглядно представлена на рис. 2.

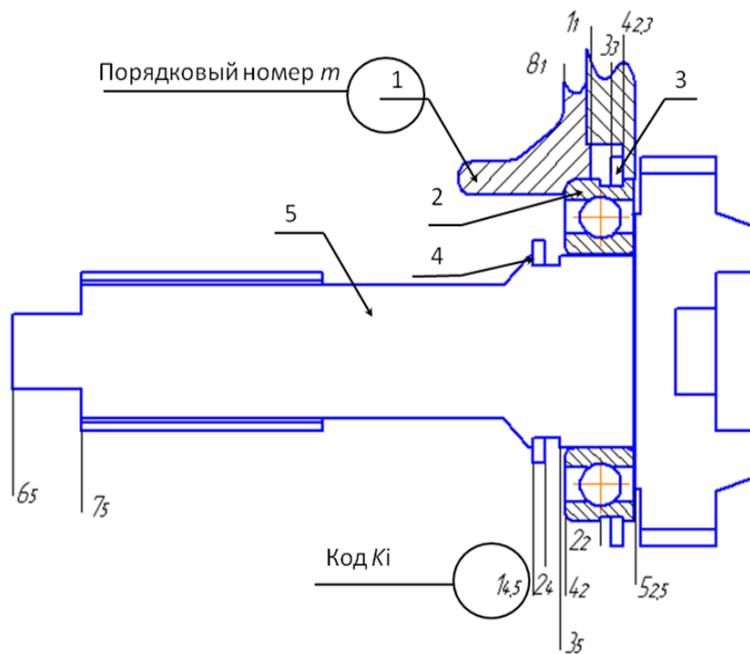


Рис. 2. Процедура кодирования элементов

Процедура формирования сети основных путей заключается в описании всех выявленных на предыдущем шаге индексов принадлежности  $k_i$  в виде графового представления. Представление агрегата в виде графа дает наглядность представления размерной модели и организованность всей структуры. На данном этапе происходит сопоставление индексов принадлежности  $i$  у всех выявленных кодов  $k_i$ . При совпадении индексов принадлежности  $i$  между любыми кодами  $k_i$ , чертят отрезок (ребро) графа, соединяющее вершины

этого графа  $k_i$ . Сопоставление индексов происходит до тех пор, пока не будет охвачена вся совокупность кодов  $k_i$ . По завершении данной процедуры будет получена сеть основных связывающих путей, которые и являются основой или каркасом будущей размерной модели. Сеть основных связывающих путей представлена на рис. 3.

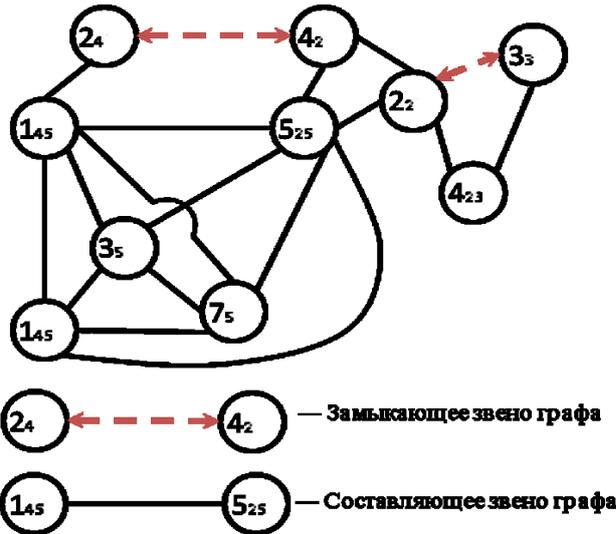


Рис. 3. Сеть основных связывающих путей

Заключительным этапом построения размерной модели агрегата является этап формирования схем сборочных РЦ. Ключевой задачей данного этапа является выявление РЦ из всего массива звеньев и поверхностей, представленных в виде структурного графа. В качестве вершин структурного графа выступают те вершины, которые образуют между собой одно или несколько искомых замыкающих звеньев. В качестве замыкающего звена выступают ребра графа см. рис. 3. Данная задача решается путем нахождения кратчайшего пути между двумя заданными вершинами графа. В основу или условие данной задачи заложен принцип того,

что каждая деталь может участвовать в размерной цепи только одним из своих размеров.

Чтобы решить стоящую задачу предлагается использовать алгоритмы по поиску кратчайших путей в графе. Как показал обзор, наиболее подходящим для реализации поставленной цели является алгоритм на графах, изобретенный Э. Дейкстры. Этот алгоритм позволяет находить кратчайшее расстояние от одной из вершин графа до всех остальных. Алгоритм работает только для графов без ребер отрицательного веса. Алгоритм широко применяется в программировании и технологиях, например, его использует протокол OSPF для устранения кольцевых маршрутов на транспорте и других областях промышленности, производства и эксплуатации различных технических систем. Данный алгоритм хорошо известен также под названием кратчайший путь. На рис. 4 представлена схема этого алгоритма с учетом его работы с размерными графами.

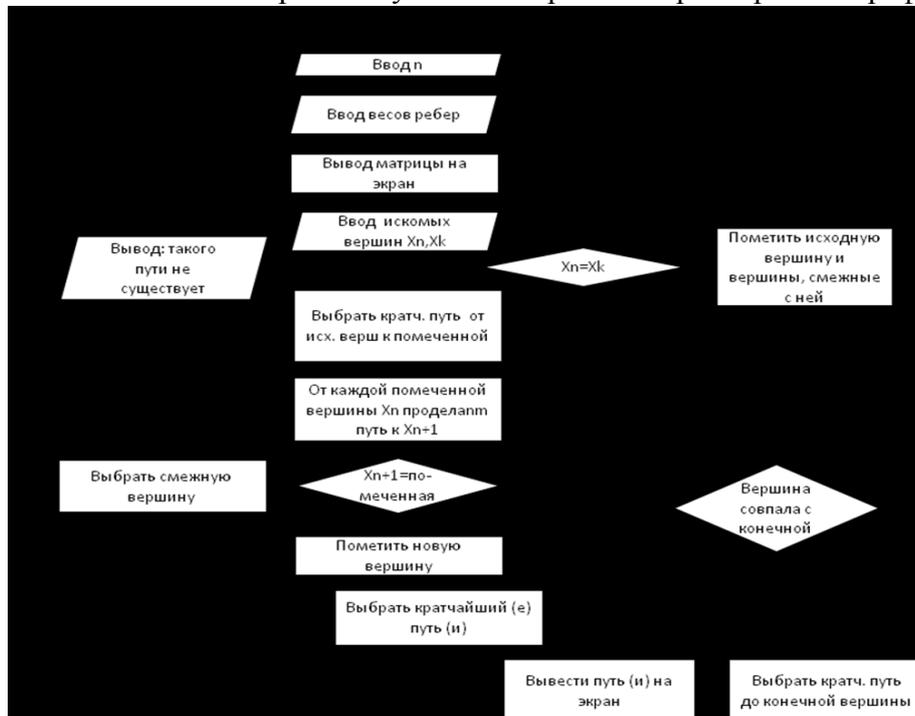


Рис. 4. Схема алгоритма по выявлению размерных цепей

После применения этого алгоритма и выявляются сборочные размерные цепи из всего

массива связывающих путей. Данный процесс наглядно представлен на рис. 5.

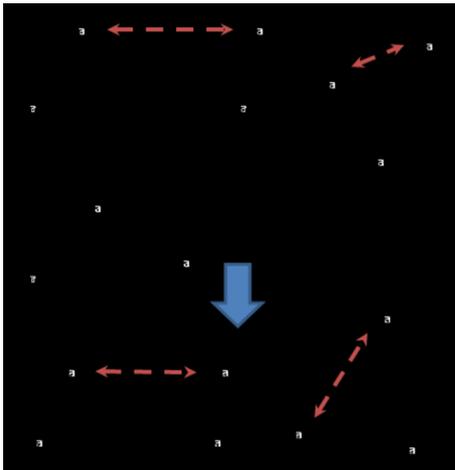


Рис. 5. Процесс выявления схем сборочных размерных цепей

Предлагаемый способ формирования размерной модели агрегата и описание агрегата в виде структурной модели универсален и включает выше изложенный подход, но позволяет идти дальше вплоть до анализа размерных связей, представленными и другими видами размерных цепей.

Таким образом, предложенная методика формирования размерной модели может быть использована как на этапе проектирования деталей и узлов, так и на стадии ремонта агрегатов и узлов автомобилей с целью наиболее эффективного управления процессом жизненного цикла изделия.